



RAPPORT LNR 4519-2002

Hjerkinn skytefelt

Konsentrasjoner av metaller i
vannprøver innsamlet fra
20 bekker, 18. september 2001



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Hjerkinn skytefelt. Konsentrasjoner av metaller i vannprøver innsamlet fra 20 bekker, 18. september 2001	Løpenr. (for bestilling) 4519 - 2002	Dato 17.april 2002
	Prosjektnr. Undernr. O-21186	Sider Pris 16
Forfatter(e) Sigurd Rognerud	Fagområde miljøgifter	Distribusjon
	Geografisk område Oppland fylke	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Forsvarsbygg, Region Østlandet	Oppdragsreferanse Odd-Erik Martinsen
--	---

Sammendrag

Konsentrasjonene av metaller i bekkene på Hjerkinn skytefelt var generelt lave. Selv om konsentrasjonene generelt var så lave at biologiske skadeeffekter ikke kan forventes, så økte konsentrasjonene av mange metaller i bekkene når de passerte gjennom deponiene. Det relativt høye kalkinnholdet i deponiområdene på Hjerkinn er en viktig årsak til at det i liten grad lekker metaller fra etterlatenskaper av ammunisjonsbruk og demolering. De lave konsentrasjonene i bekkene av humus og Fe/Mn oksider er også en medvirkende årsak. Sprengstein fra gruveområdet på Tverrfjellet som er benyttet til bygging av veger, kjøretrasseer og blenderinger er anriket på metaller. Utlekking fra disse massene har ført til økte konsentrasjoner av metaller i bekkene. Denne kilden kan være minst like viktig som utlekkinger fra militære etterlatenskaper og ha en minst like lang tidshorisont når det gjelder utlekking av metall forurensninger i framtida. Fysiske inngrep i deponiområder vil erfaringsmessig føre til økte avrenninger av korroderte metaller. Slik sett bør disse få ligge i ro. Det er lite sannsynlig at de vil utgjøre et problem i fremtiden. Derimot vil det være et gunstig tiltak å fjerne tilkjørt sprengstein i enkelte områder, eventuelt tildekke og avlede drensvann. Det er skissert et forslag til videre undersøkelser i fase 2 av utredningen.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Hjerkinn skytefelt	1. Hjerkinn shooting range
2. Oppland fylke	2. Oppland county
3. Metaller i vann	3. Metals in water
4. Forurensningsgrad	4. Degree of impact

Sigurd Rognerud

Prosjektleder

Brit Lisa Skjelkvåle

Forskningsleder

Nils Roar Sælhun

Forskningsjef

ISBN 82-577-4172-8

Hjerkinn skytefelt

**Konsentrasjoner av metaller i vannprøver innsamlet
fra 20 bekker, 18. september 2001**

Forord

Denne rapporten omhandler resultatene av den første innledende undersøkelsen av konsentrasjoner av metaller i bekker på Hjerkinnskytefelt. Rapporten er basert på 20 stikkprøver av vannkjemiske variable innsamlet 18. september 2001. Undersøkelsen skal utvides noe i 2002 og resultatene fra begge årene skal danne grunnlag for beslutninger om oppryddinger av forurensningskilder i forbindelse med tilbakeføringen av Hjerkinnskytefelt til sivile formål. Rapporten er en del av arbeidet innen utredningstemaet "Forurensning til vann og grunn" som er et av flere utredningstemaer. Prosjektet ble kontraktfestet 13. september 2001 og Forsvarsbygg (FB), Region Østlandet er oppdragsgiver. Kontaktperson i FB er prosjektleder/miljøkoordinator Odd-Erik Martinsen. Innsamlingen av stikkprøvene for vannanalyser ble utført 18. september 2001 av Sigurd Rognerud (NIVA) og Odd-Erik Martinsen (FB). Stasjonene ble valgt på bakgrunn av de informasjoner som til da var kommet fra gruppen som arbeider med kartleggingen av militære virksomhet og etterlatenskaper i Hjerkinnskytefelt. De kjemiske vannanalysene er utført ved SGAB Analytica i Umeå, Sverige og NIVAs laboratorium i Oslo.

Ottestad, 17.april 2002

Sigurd Rognerud

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	6
2. Metoder	9
3. Resultater	10
4. Diskusjon og anbefalinger	13
5. Litteratur	14
6. Vedlegg.	15

Sammendrag

Rapporten omhandler resultatene av den første undersøkelsen av konsentrasjoner av metaller i bekker på Hjerkinns skytefelt. Rapporten er basert på 20 stikkprøver av vannkjemiske variable. Undersøkelsen skal utvides i 2002, og resultatene fra begge årene skal gi grunnlag for beslutninger om oppryddinger av forurensningskilder i forbindelse med tilbakeføringen av Hjerkinns skytefelt til sivile formål.

Konsentrasjonene av metaller i bekkene på Hjerkinns skytefelt var generelt lave. Hvis disse verdiene er representative er det lite sannsynlig at en har biologiske skadeeffekter av særlig omfang. Dette er i samsvar med konklusjoner fra tidligere undersøkelser i Hjerkinns skytefelt (Kjellberg 1988, Rognerud og Boye 1992). Selv om konsentrasjonene generelt var så lave at biologiske skadeeffekter ikke kan forventes så økte konsentrasjonene av mange metaller i bekkene når de passerte gjennom deponiene.

Det var også en betydelig økning i metallkonsentrasjon i Grisungbekken fra området oppstrøms HFK-sletta til samløpet med Svåni selv om konsentrasjonene likevel må betegnes som lave. Det var særlig konsentrasjonene av Zn, Ni, Sb som økte, men også Cd og Cu. En av årsakene kan ha vært avrenning fra HFK-sletta hvor det ble observert forhøyede verdier av Zn, Cu og Ni i en av bekkene. HFK-sletta er delvis bygd opp av metallanrikt sprengstein og pukk fra gruveområdet på Tverrfjellet. Den nedre delen av dette nedbørfeltet drenerer gruveområdet ved Tverrfjellet og de samme typen steinmasser som finnes på HFK-sletta. Dette området var imidlertid i en periode også mye benyttet til feltskyting med håndvåpen. Resultatene indikere imidlertid at sprengstein fra gruva og eventuell metallanrikt berggrunn er de viktigste kilder for økningen i konsentrasjoner av metaller i Grisungbekken.

I bekken som drenerer skytebanene på Haukberget økte konsentrasjonene av "militært relaterte metaller" på sin veg i gjennom baneanleggene. Samtidig med økt militær bruk, endrer også geologien seg, og ikke minst mengden utkjørt sprengstein. Resultatene er derfor vanskelig å tolke. Vi tror at sprengstein eller lokal geologi er den største kilden, men et bidrag fra deponiene kan ikke utelukkes.

På Haukberget brukes også håndvåpen ammunisjon som fører til betydelig deponier av blant annet bly. Det er imidlertid verd å merke seg at dette ikke fører til økte blykonsentrasjoner i bekken. Dette skyldes at i kalkrikt basisk jordmonn dannes det en skorpe av bly-karbonat og bly-bikarbonat rundt de korroderte blyfragmentene som hindrer en videre korrosjon og bidrar til lave utsig av bly.

Det relativt høye naturlige kalkinnholdet i deponiområdene sammen med lave konsentrasjoner av humus og Fe/Mn oksider i bekkene er en viktig årsak til at det i liten grad lekker metaller fra etterlatenskaper av ammunisjonsbruk og demolering. Utkjøringen av metallanrikt sprengstein fra gruveområdet på Tverrfjellet har også ført til økte konsentrasjoner av metaller i bekkene. Denne kilden kan være langt viktigere enn utlekkinger fra deponiene og ha en minst like lang tidshorisont. Fysiske inngrep i deponiområder vil erfaringsmessig føre til økte avrenninger av korroderte metaller. Slik sett bør disse få ligge i ro. Det er lite sannsynlig at de vil utgjøre et problem i fremtiden. Derimot vil det være et gunstig tiltak å fjerne tilkjørt sprengstein, eventuelt tildekke og avlede dreinsvann.

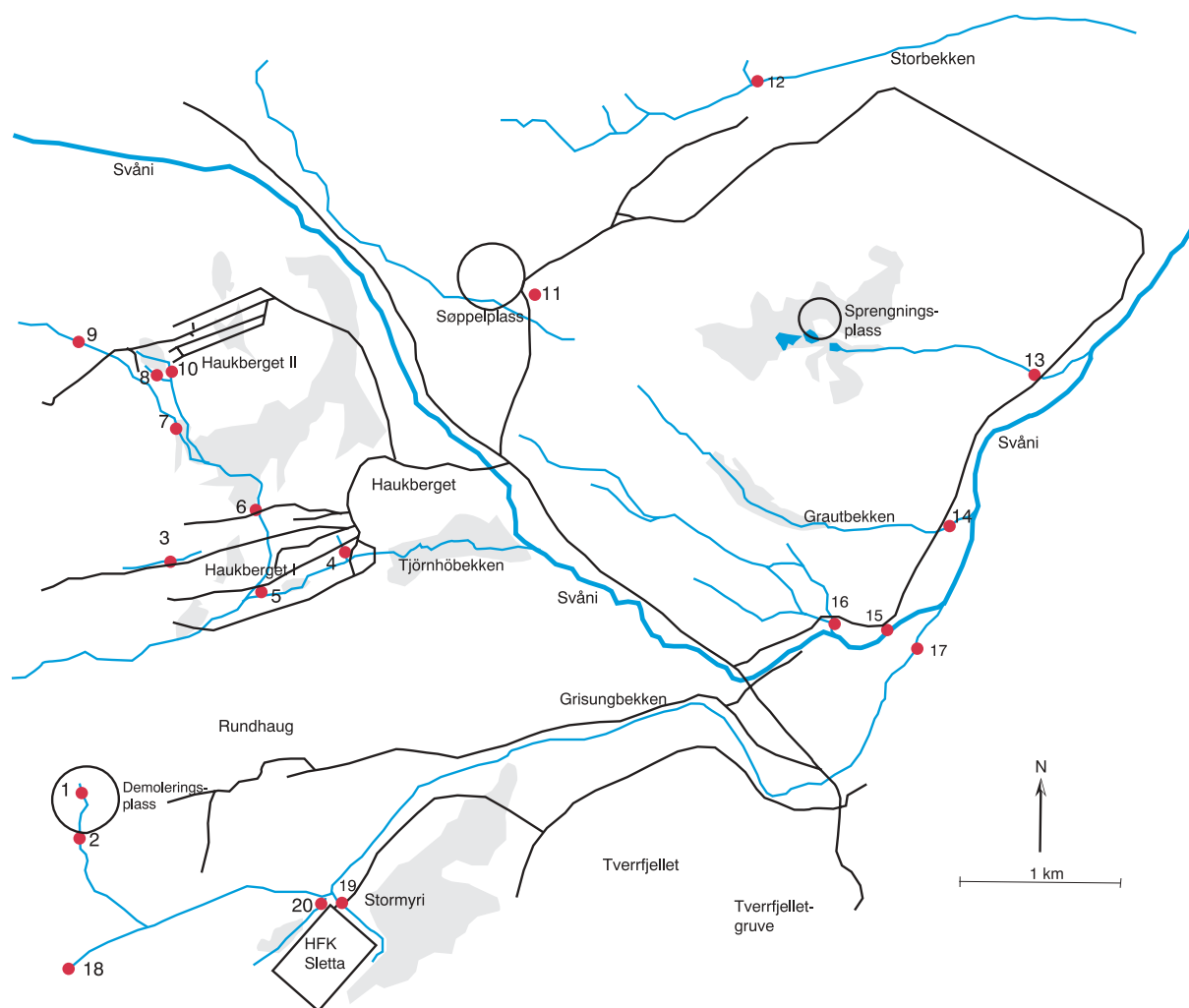
I fase 2 av undersøkelsen vil vi anbefale at: a) det tas prøver med samme parametervalg som i denne undersøkelsen i bekker som drenerer nye deponiområder som militær arbeidsgruppe har identifisert våren 2002, b) analysere grusen/pukken fra gruveområdet med hensyn på metallinnhold, c) identifisere gode referansestasjoner for bekker som har nedbørfeltet dominert av de tre ulike geologiske områdene som dominerer feltet, d) analysere metall-innhold i fisk fra Grisungbekken, Svåni og en referanselokalitet for å klarlegge eventuelle effekter av forurensninger og om disse har betydning for fisk benyttet til konsum, e) starte et overvåkningsopplegg som skal dokumentere eventuelle endringer over tid i utlekkingen av metaller. Spesielt viktig er dette i perioden som omfatter rydding og santering av inngrep i feltet.

1. Innledning

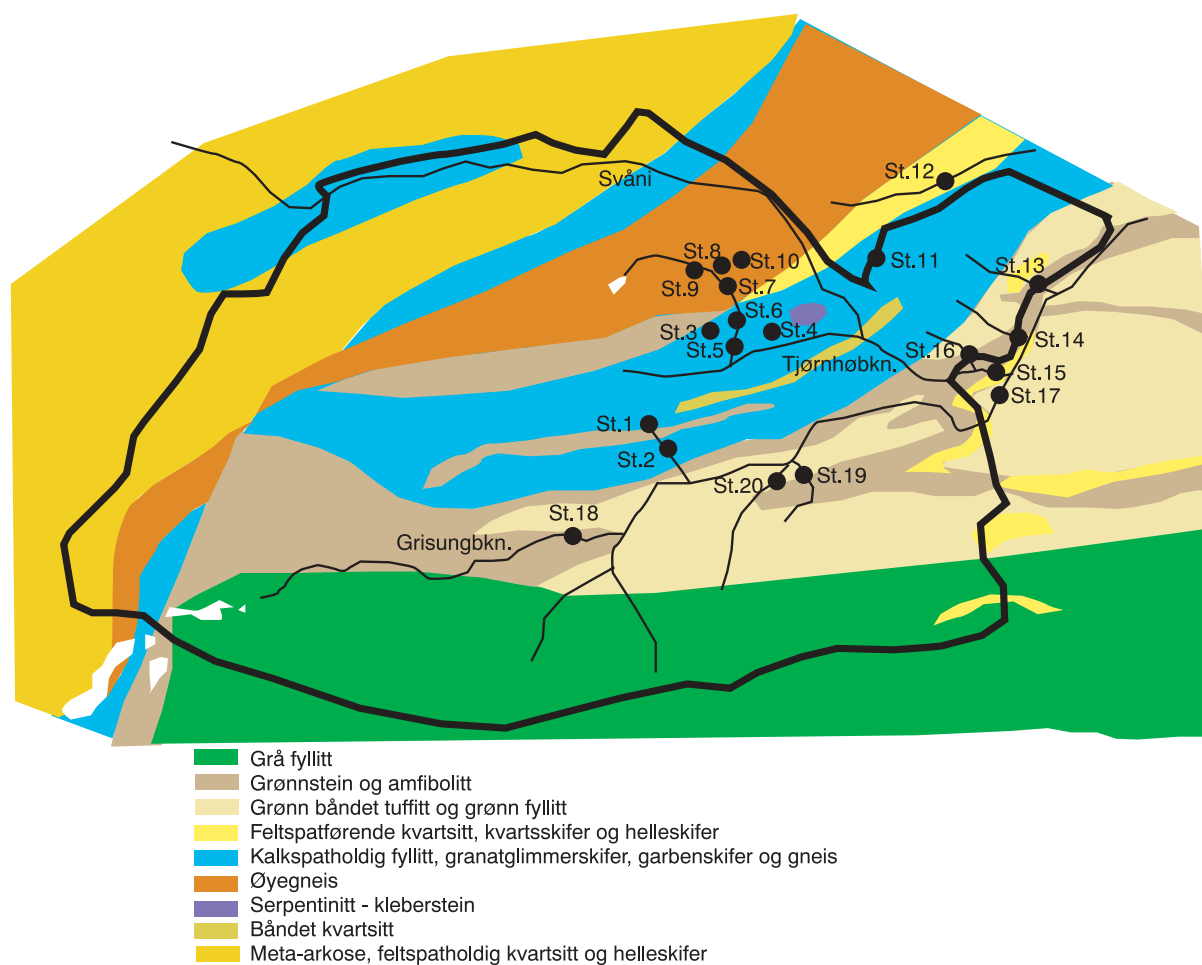
Tilbakeføringen av Hjerkinns skytefelt til sivile formål krever en statusundersøkelse på graden av metallforurensning i vann i de ulike deler av feltet. Resultatene skal danne grunnlag for å prioritere tiltak der det er behov. Hjerkinns har en sårbar natur, og metallrester (særlig bly) kan skape problemer for fugl, mens løste metaller i vann kan forgifte fisk og andre akvatiske organismer. Skytefeltet er stort (165 km²) og har hatt en variert militær bruk helt siden oppstarten i midten av 1920-årene. Det har vært Hæren og Luftforsvaret som i hovedsak har benyttet feltet, men våpenindustrien har også benyttet området i sin testvirksomhet. Feltet har også vært brukt til demolering av ulike typer ammunisjon (herunder også røykammunisjon) og det er også etterlatenskaper fra tyskernes virksomhet under krigen.

FB har nedsatt en gruppe som har som mål å kartfeste den militære aktiviteten på Hjerkinns og beskrive de ammunisjonstyper som har vært benyttet opp gjennom årene. Etter en redegjørelse fra denne gruppen valgte vi ut 20 målepunkter i ulike bekker for en orienterende undersøkelse av vannkvaliteten med hovedvekt på konsentrasjoner av metaller i vann. Undersøkelsen ble gjennomført 18. september 2001 og omfattet de bekker som drenerte de viktigste til da kjente deponier, aktivitetsområder og nedslagsområder for projektiler (Figur 1). Enkelte av stasjonene (1, 9 og 18) var også "referansestasjoner" dvs stasjoner med antatt liten spredning av ammunisjonsrester i nedbørfeltet. Geologien innen skytefeltet er variert og er en viktig forklaringsvariabel når det gjelder variasjonen i vannkvalitet. De sentrale områdene består i hovedsak av feltspatholdig fyllitt omkranset av grønnstein og amfibolitt (Figure 2). De nordligste stasjonene på Haukberget drenerer et nedbørfelt bestående av øyegneis, mens de sydlige og sydøstre stasjonene påvirkes av vann som drenerer områder med kalkspatholdig fyllitt samt grå og grønn fyllitt.

Vannprøvene ble analysert med hensyn på 15 ulike metaller og 8 andre vannkvalitetsvariable som har betydning for metallers mobilitet, tilstandsform og giftighet. Utvalget av analyser er gjort på bakgrunn av den informasjon vi har fått fra FB om metaller i ulike typer militær ammunisjon i forbindelse med konsekvens-utredningen i Regionfelt Østlandet (Rognerud et al. 2001), og resultatene fra overvåkning av metallforurensning fra militære skytefelt og demoleringsplasser (Rognerud 2001). I skytefelt hvor det hovedsakelig benyttes håndvåpen er det oftest barium (Ba), sink (Zn), antimon (Sb), kobber (Cu) og bly (Pb) som forekommer i konsentrasjoner over det som er vanlig i norske vannforekomster (Rognerud 2001). Situasjonen kan imidlertid være en annen på Hjerkinns der andre aktiviteter kan føre til utlekking av også andre metaller og forurensninger enn de en finner i avrenning fra geværbaner. Med bakgrunn i ammunisjonregnskapet for Regionfelt Østlandet vet vi at det også deponeres jern (Fe), aluminium (Al), strontium (Sr) og mindre mengder kobolt (Co), krom (Cr) og nikkel (Ni). I tillegg til dette er det kjørt ut betydelig mengder steinmasser og pukkmasser fra gruvevirksomheten på Tverrfjellet til bruk i oppbygging og vedlikehold av vegnett, kjøretrasseer, blenderinger og HFK-sletta. Metallene Zn, Ni og Cu var hovedelementer i gruvevirksomheten i Tverrfjellet og det er rimelig å anta at massene som er spredt i feltet kan være anriket på disse metallene. Hensikten med undersøkelsen er å få en indikasjon på omfanget av alle typer metallforurensninger i feltet. Dessuten skal resultatene danne grunnlaget for valg av stasjoner og parametre i en videre overvåkingsundersøkelse.



Figur 1. Oversikt over stasjoner i Hjerkinnskytefelt der vannprøver ble innsamlet 18.september 2001.



Figur 2. Modifisert geologisk kart over Hjerkinnskytefelt (kilde, Nilsen og Wolff 1989). Avgrensningen er ringveien. Stasjonene for vannprøvetakningen er gitt, se også Figur 1.

2. Metoder

Prøvene for metaller ble innsamlet på syrevaskede flasker og sendt til laboratoriet for analyse like etter prøvetakning. Alle analysene ble utført ved SGAB Analytica, unntatt pH, TOC og konduktivitet som ble analyser ved NIVAs laboratorium i Oslo. SGAB er akkreditert av SWEDAC og NIVAs laboratorium av Norsk Akkreditering (NA). Analysene av Ca, Fe, K, Mg, Na, S, Si og Sr er utført ved hjelp av ICP-AES, Hg ved atomfluorescens og Al, As, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sb og Zn ved ICP-SMS. pH, konduktivitet og TOC er analysert etter henholdsvis metode A 1, A 2, G 4-2 gitt i metodebeskrivelser ved NIVAs laboratorium.

3. Resultater

Resultatene av de kjemiske analysene for de alle lokalitetene er gitt i Vedlegget. I Tabell 1 er det gitt en summarisk statistikk for alle variable og alle stasjoner samlet (n = 20). På bakgrunn av klassifikasjon av metallkonsentrasjonene i forhold til biologiske effekter (Tabell 2) er de observerte konsentrasjoner vurdert med hensyn til sjansen for biologiske skadeeffekter i bekkene.

Tabell 1. Summarisk statistikk for konsentrasjonene av ulike metaller og vannkvalitetsvariable på 20 stasjoner i Hjerkinnskytefelt innsamlet 18. september 2001. Standard feil og 95% konfidensintervall av middelveien for hver enkelt variabel er vist, samt middelvei og høyeste og laveste observasjon. For As, Bi, Hg, og P var alle verdiene lavere enn grensen for sikre analyser, mens for Cd, Mo, Pb og Sb var enkelte verdier lavere enn denne grensen. I beregningene for de sistnevnte ble alle verdier lavere enn grensen erstattet med halvparten av grensen for sikre analyser.

Variabel	Enhet	Middel-verdi	Standard feil	Nedre grense	Øvre grense	Laveste verdi	Høyeste verdi
pH		7,21	0,06	7,07	7,36	6,52	7,58
Kond	mS/m	5,75	1,04	3,57	7,94	1,75	21,2
Ca	mg/l	6,96	1,27	4,29	9,62	1,51	22,4
Mg	mg/l	1,26	0,26	0,71	1,81	0,31	4,89
Na	mg/l	1,26	0,08	1,09	1,44	0,77	2,36
K	mg/l	1,11	0,14	0,80	1,42	0,2	2,86
S	mg/l	2,71	0,75	1,12	4,30	0,32	14,1
TOC	mgC/l	1,94	0,22	1,48	2,40	0,6	3,4
Al	µg/l	20,4	3,2	13,8	27,0	5,4	58,8
As	µg/l					<0,01	<0,022
Ba	µg/l	8,77	1,08	6,50	11,04	4,11	25,3
Bi	µg/l					<0,005	<0,005
Cd	µg/l	0,012	0,004	0,004	0,022	<0,005	0,057
Co	µg/l	0,059	0,015	0,028	0,091	0,014	0,322
Cr	µg/l	0,101	0,006	0,087	0,115	0,057	0,170
Cu	µg/l	1,30	0,25	0,77	1,82	0,27	4,54
Hg	µg/l					<0,002	<0,002
Fe	µg/l	40	9	27	66	6	138
Mn	µg/l	7,40	3,15	0,81	14,0	0,26	58,1
Mo	µg/l	0,055	0,010	0,033	0,076	0,005	0,153
Ni	µg/l	0,48	0,08	0,32	0,65	0,077	1,44
P	µg/l					<5	<5
Pb	µg/l	0,033	0,007	0,017	0,049	<0,03	0,127
Sb	µg/l	0,067	0,028	0,007	0,126	<0,01	0,579
Si	mg/l	3,05	0,15	2,73	3,37	1,7	4,0
Sr	µg/l	20,0	3,2	13,1	26,8	9,1	68,1
Zn	µg/l	6,3	2,9	0,2	12,3	0,1	55,5

Generelt sett var vannet i bekkene innen skytefelt relativt kalsiumholdig med svakt alkalisk reaksjon (pH) og lave konsentrasjoner av kompleksdannere (organisk materiale, målt som TOC og Fe/Mn oksider). Med bakgrunn i klassifikasjonssystemet (Tabell 2) kan konsentrasjonene av As, Cd, Cr, Hg, Ni og Pb betegnes som svært lave på alle stasjoner. Konsentrasjonene av Cu og Zn var også svært lave på alle stasjoner unntatt st.3 og 4 (Haukberget I) der de kan betegnes som lave (Tabell 2). Dersom disse stikkprøvene er representative prøver for vannkvaliteten i skytefeltet er det lite sannsynlig at de observerte metallkonsentrasjonene vil føre til biologiske skadeeffekter i bekkene.

Tabell 2. Klassifikasjon av metallkonsentrasjoner i forhold til biologiske effekter. Klasse 1: ingen effekter på biota. Klasse 2: Noen sensitive arter kan påvirkes, men ingen effekter på fisk. Klasse 3: Effekter på biota ved reduksjon av artsantallet samt effekter på salmonide fisk. Klasse 4: Store effekter på økosystemet. Denne klassifikasjonen er basert på Lydersen et al. 2002. Kritiske konsentrasjoner gitt av SFT (1997) er også vist.

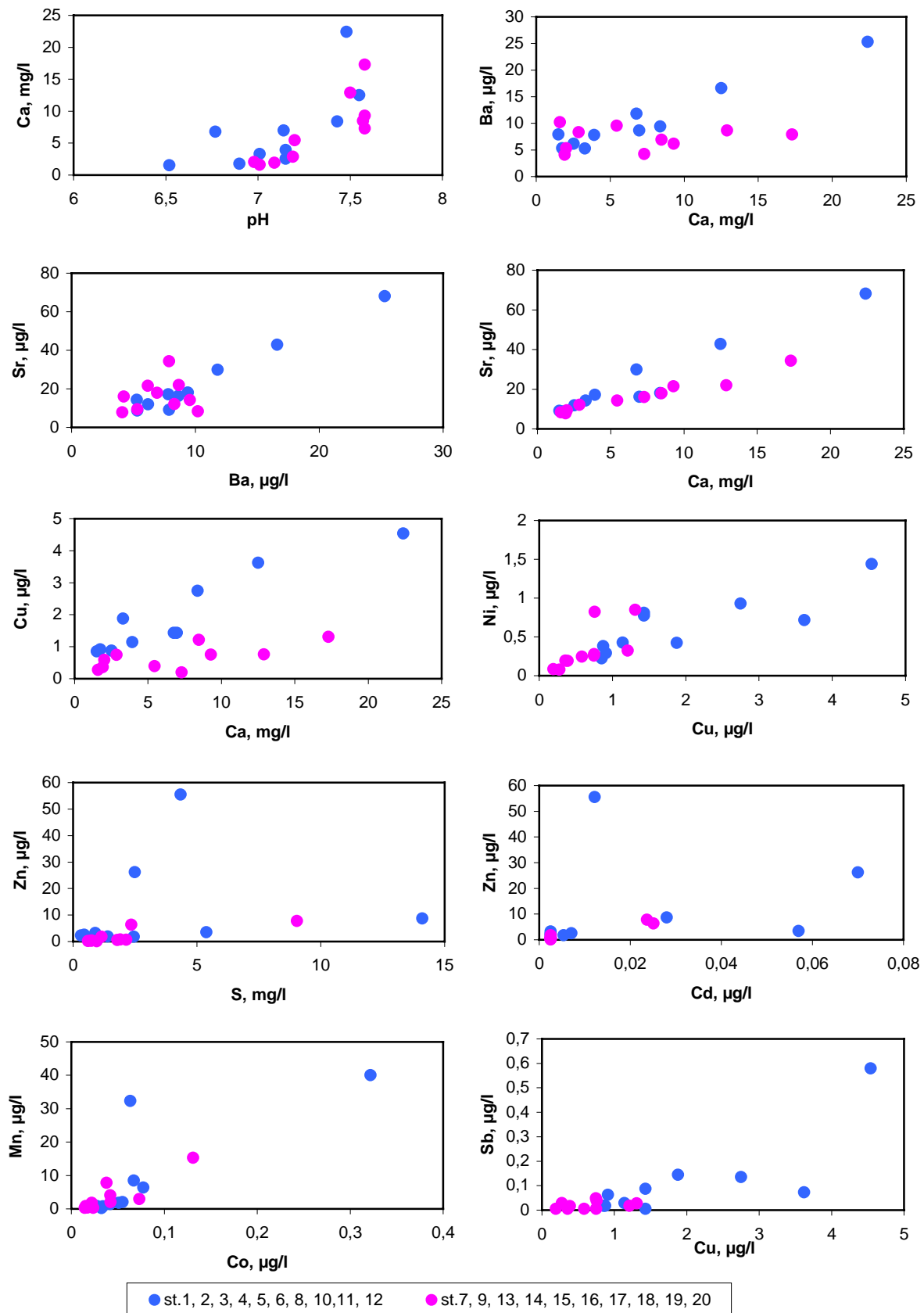
Element	Klasse 1 svært lav	Klasse 2 lav	Klasse 3 medium	Klasse 4 høy	SFT 1997 kritiske kons.
As (µg/l)	<0,1	0,1 – 0,4	0,4 – 1,4	>1,4	5
Cd (µg/l)	<0,2	0,2 – 0,5	0,6 – 1,0	>1	0,2
Cu (µg/l)	<3	3 - 15	16 - 30	>30	3
Cr (µg/l)	<5	5 - 15	16 - 40	>40	10
Hg (µg/l)	<0,002	0,002 – 0,005	0,005 – 0,010	>0,010	0,010
Ni (µg/l)	<10	10 - 30	31 - 100	>100	5
Pb (µg/l)	<1	1 - 5	6 - 15	>15	2,5
Zn (µg/l)	<30	30 - 60	61 - 100	>100	50

Selv om konsentrasjonene generelt var så lave at biologiske skadeeffekter ikke kan forventes så økte konsentrasjonene av mange metaller i bekkene når de passerte gjennom deponier eller skytebaner (se Tab. I i vedlegget og Fig. 1 for stasjonslokalisering). Dette gjaldt den nedlagte demoleringsplassen i Grisungdalen (fra st. 1 til 2), Grisungbekken (fra st.18 til 17) og Haukberget (fra st.9 til 5).

Demoleringsplassen førte til en konsentrasjonsøkning særlig for Cd og Zn (10-15 ganger), mens konsentrasjonene av Cd, Zn, Sb, Ni og Cu i Grisungbekken økte betydelig (10 - 60 ganger) fra øverst til nederst i nedbørfeltet. I bekken som avvanner skytebanene ved Haukberget økte konsentrasjonene av de aller fleste metallene med en faktor på 2-6 fra oppstrøms til nedstrøms baneanleggene.

Geologien i Hjerkinnskytefeltet er variert (Fig. 2) og den påvirker vannkvaliteten. Kalsiumkonsentrasjonen er en viktig indikator på endringer i geokjemien. Militære etterlatenskaper inneholder ubetydelige mengder kalsium i forhold til de geokjemiske kildene. På samme måte kan samvariasjon (eller mangel på dette) mellom metaller gi indikasjon på kilder. Vi har derfor vist endel slike sammenhenger og skilt mellom stasjoner med nedbørfelt beliggende i 2 geologiske hovedområder (Figur 3).

I de bekkene hvor nedbørfeltet inneholdt kalkspatholdig fyllitt var det en god sammenheng mellom Ca/Ba, Ba/Sr, Ca/Sr, og Cu/Ni, i de andre bekkene var dette bare tilfelle for Ca/Sr og Cu/Ni. Videre var det generelt en god sammenheng mellom Cd/Zn, Co/Mn og Cu/Sb selv om målområdet på Haukberget II skiller seg ut med spesielt høye Zn konsentrasjoner.



Figur 3. Korrelasjoner mellom enkelte vannkjemiske variable. Punkter merket ● er prøver tatt fra bekker hvor nedbørfeltet inneholder kalkspathholdig fyllitt. Punkter merket ● er andeler av kalkspathholdig fyllitt i bekkenes nedbørfelt svært lite.

4. Diskusjon og anbefalinger

Konsentrasjonene av metaller i bekkene på Hjerkinnskytefelt var generelt lave. Dersom dette er representative verdier er det lite sannsynlig at de har biologiske skadeeffekter av særlig omfang. Dette er i overensstemmelse med konklusjoner fra tidligere undersøkelser i Hjerkinnskytefelt (Kjellberg 1988, Rognerud og Boye 1992). Konsentrasjonene av enkelte metaller økte noe i bekkene som drenerer de viktigste deponier og skytebaner, men konsentrasjonene ble likevel ikke spesielt høye. Den nedlagte demoleringsplassen i Grisungdalen lekker Zn, Cd og noe Cu antagelig som følge av korrosjon av metallrester etter demolering av ammunisjon. Konsentrasjonene i bekken fra demoleringsplassen fortynnes noe nedover og utsiget bidrar ikke til å heve konsentrasjonene i Grisungbekken nevneverdig.

Det var også en betydelig økning i metallkonsentrasjon i Grisungbekken fra området oppstrøms HFK-sletta til samløpet med Svåni selv om konsentrasjonene likevel må betegnes som lave. Det var særlig konsentrasjonene av Zn, Ni, Sb som økte, men også Cd og Cu. En av årsakene kan ha vært avrenning fra HFK-sletta hvor det ble observert forhøyede verdier av Zn, Cu og Ni i en av bekkene. HFK-sletta er delvis bygd opp av sprengstein og pukk fra gruveområdet på Tverrfjellet. Vi har ennå ikke analysert metallinnholdet i disse massene, men vil nevne at denne gruva var basert på malm anriket på Ni, Zn og Cu mineraliseringer. Den nedre delen av dette nedbørfeltet drenerer gruveområdet ved Tverrfjellet og de samme typen steinmasser som finnes på HFK-sletta. Dette området var imidlertid i en periode også mye benyttet til feltskyting med håndvåpen. I tillegg kan lokal berggrunn ha anrikninger av metaller. Militære etterlatenskaper inneholder Cu og Pb, men ubetydelig mengder Ni. Den gode sammenhengen mellom Ni og Cu samt den lave konsentrasjonen av Pb på stasjonen i Grisungbekken indikerer at sprengstein fra gruva og eventuell metallanriket berggrunn er de viktigste kilder for økningen i konsentrasjoner av metaller i Grisungbekken.

I bekken som drenerer skytebanene på Haukberget økte konsentrasjonene av "militær relaterte metaller" på sin veg igjennom baneanleggene. Det er vanskelig å tolke. Årsaken er at samtidig med økt militær bruk endrer geologien seg og ikke minste mengden utkjørte sprengstein fra gruvene på Tverrfjellet. Konsentrasjonen av Ca økte hovedsakelig fordi geologien endrer seg fra øyegneiss i øvre deler, via feltspatførende kvarsitt til kalkspatholdig fyllitt i de nedre deler. Det er ikke urimelig å anta at dette også kan betinge høyere metallkonsentrasjoner i bekken som følge av økt forvittringshastighet og utlekking av metaller fra berggrunnen. Parallelt med denne endringen i geokjemien er det også økte mengder deponerte prosjektiler som følge av militær aktivitet. Konsentrasjonene av "militært relaterte metaller" som Ba, Sr og Cu samvarierer imidlertid godt med et geokjemisk element som Ca. Ofte observeres økte konsentrasjoner av Ba og Sr i kalkrikere bergarter (Bricker og Jones 1995). Det er derfor antagelig sprengstein eller lokal geologi som er hovedårsaken til økningen gjennom feltet for Ba og Sr. Den gode samvariasjonen mellom Cu og Ni indikerer at dette muligens også er forklaringen på Cu-kildene. Likevel kan vi ikke på bakgrunn av denne undersøkelsen utelukke et bidrag fra militær etterlatenskaper.

På Haukberget benyttes også en god del håndvåpen ammunisjon som fører til betydelig deponier av bly. Det er imidlertid verd å merke seg at dette ikke fører til økte blykonsentrasjoner i bekken. Dette skyldes at i kalkrik basisk jordmonn dannes det en skorpe av bly-karbonat og bly-bikarbonat rundt de korroderte blyfragmentene. Denne skorpen danner et beskyttende lag som hindrer en videre korrosjon som betinger lave utsig av bly. Dette er i god overensstemmelse med resultatene fra 10 års overvåkingen av metaller i bekker som drenerer skytefelt med tilsvarende jordsmonn (Rognerud 2001).

De aller fleste oksiderte metallioner etter korrosjon av deponerte prosjektiler bindes betydelig bedre i nøytralt til alkalisk miljø enn i surt. Den beskyttende skorpen av metallkarbonater utgjør et effektivt hinder mot videre korrosjon av metallrestene så lenge de ikke utsettes for mekaniske forstyrrelser.

Vi kan derfor konkludere med det relativt høye kalkinnholdet i deponiområdene på Hjerlann er en viktig årsak til at det i liten grad lekker metaller fra etterlatenskaper av ammunisjonsbruk og demolering. De lave konsentrasjonene i bekkene av "metalltransportører" som humus og Fe/Mn oksider er også en medvirkende årsak. Det er imidlertid klart at utkjøringen i feltet av store mengder metallanrikt sprengstein fra gruveområdet på Tverrfjellet har ført til økte konsentrasjoner av metaller i bekkene. Denne kilden kan generelt sett være viktigere enn utlekkinger fra militære etterlatenskaper og ha en minst like lang tidshorison. Fysiske inngrep i deponiområder vil erfaringsmessig føre til økte avrenninger av korroderte metaller (Rognerud 2001 og litteratur sitert i denne rapporten). Slik sett bør disse få ligge i ro. Det er lite sannsynlig at de vil utgjøre et problem i fremtiden. Derimot vil det være gunstig å fjerne tilkjørt sprengstein, eventuelt tildekke og avlede dremsvann, slik at en minimaliserer metallutlekkingen.

I fase 2 av undersøkelsen vil vi anbefale at: a) det tas prøver med samme parametervalg som i denne undersøkelsen fra bekker som drenerer de nye deponiområdene som militær arbeidsgruppe har identifisert i 2002, b) analysere grusen/pukken fra gruveområdet med hensyn på metallinnhold, c) identifisere gode referansestasjoner for bekker som har nedbørfeltet dominert av de tre ulike geologiske områdene som dominerer feltet, d) analysere metall-innhold i fisk fra Grisungbekken, Svåni og en referanselokaltet for å klarlegge eventuelle effekter av forurensninger og om disse har betydning for fisk benyttet til konsum, e) starte et overvåkningsopplegg som skal dokumentere eventuelle endringer over tid i utlekkingen av metaller, spesielt i perioden som omfatter rydding og sanering av inngrep i feltet.

5. Litteratur

- Bricker, P.O., and Jones, F.B. 1995. Main factors affecting the composition of natural waters. In: Trace elements in natural waters. Editors Salbu, B. and Steinnes, E. : 1-20. CRC Press, London.
- Kjellberg, G. 1988. Vannforurensning fra skytefelt. Delprosjekt 1. Forprosjekt vedrørende eventuell vannforurensning fra demolering av ammunisjon ved Hjerlann skytefelt 1986-1987. NIVA-rapport Lnr. 2183. 42 s.
- Lydersen, E. and Løfgren, S. 2002. Metals in Scandinavian surface waters: effects of acidification, liming and potential reacidification. Critical Rev. Environ. Sci. Technol. Accepted.
- Nilsen, O. og Wolff F.C. 1989. Geologisk kart over Norge, berggrunnskart RØROS & SVEG – 1:250 000. Norges Geologiske undersøkelse.
- Rognerud S. og Boye, B. 1992. Vannforurensning fra skytefelt. Delprosjekt 3. Forurensning av aktuelle tungmetaller fra 10 av Forsvarets skytefelt. NIVA-rapport 2699. 41 s.
- Rognerud, S. 2001. Overvåkning av metallforurensning fra militære skytefelt og demoleringsplasser. Resultater fra 10 års overvåkning. NIVA-rapport Lnr. 4351-2001. 46s.
- SFT 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. SFT veiledning 97/04. 31s.

6. Vedlegg.

Tabell I. Primærdata for analyser på 20 lokaliteter innsamlet 18.september 2001. Stasjonslokalisering se figur 1.

ELEMENT SAMPLE	pH	KOND mS/m	TOC mg/l	Ca mg/l	Fe mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	S mg/l	Si mg/l	Al µg/l	As µg/l	Ba µg/l	Bi µg/l
St, 1 Hjerinn	7,14	5,77	2,3	6,97	0,0094	1,54	0,742	0,826	2,45	3,16	25,5	<0,01	8,63	<0,005
St, 2 Hjerinn	7,43	5,94	1,8	8,38	0,0529	1,68	0,948	1,18	2,49	3,28	9,75	<0,01	9,39	<0,005
St, 3 Hjerinn	7,55	9,37	1,8	12,5	0,0099	1,69	1,76	1,53	5,38	3,8	11,9	<0,01	16,6	<0,005
St, 4 Hjerinn	7,48	21,2	2,5	22,4	0,0397	2,86	4,89	2,36	14,1	4,02	10,4	<0,015	25,3	<0,005
St, 5 Hjerinn	7,15	3,56	2,3	3,93	0,138	0,822	0,773	1,19	1,4	2,81	25,9	<0,01	7,82	<0,005
St, 6 Hjerinn	7,15	3,5	2,2	2,53	0,112	0,59	0,622	1,11	0,936	2,71	29	<0,01	6,18	<0,005
St, 7 Hjerinn	6,98	2,18	1,5	2,02	0,0454	0,472	0,473	1,06	0,76	2,51	28,2	<0,01	5,31	<0,005
St, 8 Hjerinn	6,77	6,58	1,1	6,77	0,113	1,22	1,52	2,01	4,34	4,79	17,1	<0,01	11,8	<0,005
St, 9 Hjerinn	7,09	2,18	1,3	1,93	0,021	0,604	0,492	1,03	0,736	2,24	16,7	<0,01	4,11	<0,005
St, 10 Hjerinn	7,01	2,96	4,8	3,3	0,0798	0,538	0,762	1,35	0,904	3,05	41	<0,01	5,27	<0,005
St, 11 Hjerinn	6,52	1,75	1,8	1,51	0,0111	0,541	0,398	1,22	0,327	3,57	43,3	<0,01	7,88	<0,005
St, 12 Hjerinn	6,9	1,76	3	1,76	0,105	0,465	0,382	1,25	0,459	3,3	58,8	<0,022	5,31	<0,005
St, 13 Hjerinn	7,5	7,96	2	12,9	0,0603	1,97	1,16	1,41	1,79	3,01	7,01	<0,020	8,67	<0,005
St, 14 Hjerinn	7,19	2,8	1,6	2,87	0,0149	0,826	0,609	1,21	1,15	3,13	18,2	<0,014	8,3	<0,005
St, 15 Hjerinn	7,01	1,59	0,6	1,61	0,0176	<0,4	0,314	0,775	0,603	1,71	9,19	<0,01	10,2	<0,005
St, 16 Hjerinn	7,2	4,53	1	5,45	0,0059	1,11	0,798	1,23	2,15	2,96	6,16	<0,01	9,56	<0,005
St, 17 Hjerinn	7,57	6,29	1,4	8,47	0,0262	1,07	1,51	1,13	2,35	2,6	12,7	<0,013	6,9	<0,005
St, 18 Hjerinn	7,58	5,08	0,6	7,3	0,0044	0,771	1,17	0,922	0,962	2,2	5,14	<0,01	4,23	<0,005
St, 19 Hjerinn	7,58	13	3,4	17,3	0,0365	1,89	3,83	1,39	9,04	3,28	20,6	<0,015	7,88	<0,005
St, 20 Hjerinn	7,58	7,1	1,8	9,29	0,0371	1,42	2,09	1,16	1,91	3,02	12,1	<0,014	6,16	<0,005

ELEMENT SAMPLE	Cd µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Hg µg/l	Mn µg/l	Mo µg/l	Ni µg/l	P µg/l	Pb µg/l	Sb µg/l	Sr µg/l	Zn µg/l
St, 1 Hjerinn	0,005	0,0326	0,12	1,43	<0,002	0,257	0,0412	0,809	<5	0,045	0,087	16,2	1,78
St, 2 Hjerinn	0,07	0,0553	0,07	2,75	<0,002	2,05	0,019	0,928	<5	<0,03	0,135	18,1	26,2
St, 3 Hjerinn	0,057	0,042	0,08	3,62	<0,002	1,41	0,0347	0,717	<5	<0,03	0,072	42,8	3,45
St, 4 Hjerinn	0,028	0,0636	0,13	4,54	<0,002	32,3	0,0921	1,44	<5	0,127	0,579	68,1	8,65
St, 5 Hjerinn	<0,005	0,0673	0,12	1,14	<0,002	8,44	<0,01	0,426	<5	0,032	0,029	17,1	1,93
St, 6 Hjerinn	<0,005	0,0775	0,12	0,873	<0,002	6,39	<0,01	0,381	<5	<0,03	0,017	11,9	1,01
St, 7 Hjerinn	<0,005	0,0733	0,11	0,585	<0,002	2,94	0,0284	0,245	<5	<0,03	<0,01	9,4	0,355
St, 8 Hjerinn	0,012	0,322	0,07	1,43	<0,002	58,1	<0,01	0,774	<5	0,089	<0,01	29,9	55,5
St, 9 Hjerinn	<0,005	0,022	0,09	0,357	<0,002	1,8	0,0398	0,194	<5	<0,03	<0,01	7,77	0,295
St, 10 Hjerinn	<0,005	0,0276	0,15	1,88	<0,002	0,852	<0,01	0,421	<5	<0,03	0,144	14,3	3,25
St, 11 Hjerinn	<0,005	0,0342	0,08	0,855	<0,002	0,785	<0,01	0,221	<5	0,103	0,017	9,1	2,31
St, 12 Hjerinn	0,007	0,0512	0,17	0,912	<0,002	1,82	0,0749	0,289	<5	0,066	0,062	8,69	2,56
St, 13 Hjerinn	<0,005	0,038	0,07	0,758	<0,002	7,82	0,105	0,823	<5	<0,03	0,038	22	0,574
St, 14 Hjerinn	<0,005	0,0237	0,09	0,747	<0,002	0,279	0,0397	0,259	<5	<0,03	0,048	12,1	1,8
St, 15 Hjerinn	<0,005	0,0155	0,11	0,276	<0,002	0,821	0,0374	0,0772	<5	<0,03	0,029	8,3	0,218
St, 16 Hjerinn	<0,005	0,0176	0,06	0,388	<0,002	0,357	0,068	0,189	<5	<0,03	0,016	14,2	0,647
St, 17 Hjerinn	0,025	0,0423	0,1	1,21	<0,002	2,03	0,116	0,321	<5	<0,03	0,017	17,9	6,3
St, 18 Hjerinn	<0,005	0,0145	0,14	0,194	<0,002	0,318	0,103	0,0853	<5	<0,03	<0,01	16	<0,2
St, 19 Hjerinn	0,024	0,131	0,09	1,31	0,0022	15,3	0,123	0,848	<5	<0,03	0,028	34,3	7,76
St, 20 Hjerinn	<0,005	0,0421	0,08	0,75	<0,002	4,05	0,153	0,278	<5	<0,03	<0,01	21,5	0,712